

**ANALISIS KURVA BELAJAR MODEL WRIGHT DAN DE JONG
UNTUK PEMASANGAN ANAK TANGGA RUKO X DI MALANG**

**NASKAH TERPUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Puan Resty Ananda
NIM. 125060101111007

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016

ANALISIS KURVA BELAJAR MODEL WRIGHT DAN DE JONG UNTUK PEMASANGAN ANAK TANGGA RUKO X DI MALANG

Puan Resty Ananda, M. Hamzah Hasyim, As'ad Munawir

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT.Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail : puanresty12@gmail.com

ABSTRAK

Pekerjaan konstruksi tangga merupakan pekerjaan berulang dari komponen bangunan. Pekerja yang melakukan pekerjaan berulang akan menghasilkan peningkatan produktivitas dikarenakan berkurangnya waktu yang dibutuhkan yang dinamakan *learning*. Pengamatan adanya kecenderungan kebutuhan waktu yang berkurang untuk pekerjaan berulang telah dipelajari oleh T.P Wright pada tahun 1936 dan hasilnya disajikan dalam bentuk kurva yang disebut sebagai kurva belajar atau *learning curve*. Teori kurva belajar mengalami perkembangan, salah satunya adalah model De Jong. Model De Jong menambahkan faktor inkompresibilitas yang dilambangkan dengan huruf M dan menyebabkan adanya kemungkinan perbedaan prediksi dari model Wright dan De Jong. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan langsung pengerjaan anak tangga di lapangan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk pengerjaan anak tangga. Waktu pengerjaan di lapangan inilah yang menentukan apakah pekerja mengalami *learning* dalam melakukan pekerjaan berulang. Selanjutnya dilakukan analisis data untuk mendapatkan produktivitas di lapangan dan analisis data untuk kurva belajar model Wright dan De Jong. Hasil dari penelitian adalah pekerja mengalami *learning* sehingga produktivitas meningkat. Model Wright dan De Jong mempunyai hasil prediksi yang sama, dikarenakan faktor M pada model De Jong bernilai 0 sehingga persamaan De Jong kembali kebentuk persamaan Wright. Jika dibandingkan dengan hasil prediksi fungsi eksponensial dan *exponential average*, maka metode prediksi paling akurat untuk pekerjaan anak tangga dalam penelitian ini adalah metode *exponential average*.

Kata-kata kunci : kurva belajar, pekerjaan berulang, produktivitas, model Wright, model De Jong

ABSTRACT

Construction stairs work is repetitive jobs of the building components. Workers who perform repetitive work will result in increased productivity due to the reduced time required is called learning. Observations of the tendency of reduced time requirements for repetitive work has been studied by T.P Wright in 1936 and the results are presented in the form of a curve called a learning curve. Learning curve theory had been developed, one of which is the method of De Jong. De Jong method added incompressibility factor which is denoted by the letter M and cause possible differences in the predictions of the Wright and De Jong methods. In this research, direct observation of workmanship rung in the field to determine the time required for processing steps. Time progress in the field that determines whether the worker is experiencing learning in doing repetitive work. Further data analysis to gain productivity in the field and data analysis for the learning curve of Wright and De Jong methods. Factor M on De Jong obtained by using Root Mean Square Error (RMSE). Exponential regression and exponential average analysis was also performed to compare the more accurate method for generating prediction time jobs. The results of the research are workers experiencing learning so that productivity increases. Wright and De Jong methods have the same predictive results, due to M factor of De Jong method is 0 so that the equation De Jong back to Wright equation. When compared with the results predicted exponential functions and exponential average, then the most accurate prediction methods to work rung in this study is exponential average method.

Key words: *learning curve, repetitive jobs, productivity, Wright method, De Jong method*

1. PENDAHULUAN

Proyek merupakan kegiatan sementara yang mempunyai batas waktu, dengan sumber daya tertentu dan mempunyai tujuan untuk mencapai sasaran yang jelas. Dalam suatu proyek, penjadwalan merupakan salah satu perencanaan yang sangat penting dikarenakan penjadwalan merupakan acuan dalam penyelenggaraan proyek. Evaluasi kerja juga dilaksanakan berdasarkan penjadwalan dengan melihat waktu dan hasil dari tahapan setiap pekerjaan.

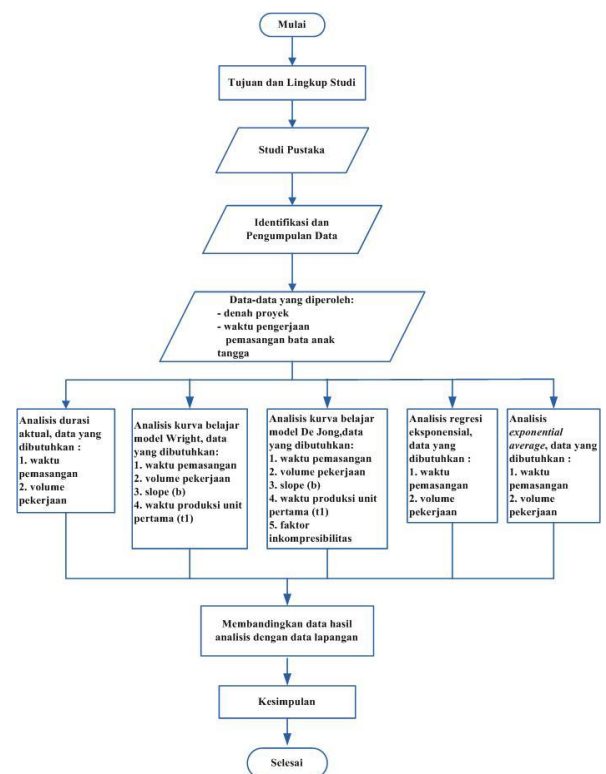
Pekerjaan konstruksi tangga merupakan pekerjaan berulang dari komponen bangunan yang berfungsi sebagai penghubung dua tingkat vertikal yang memiliki jarak satu sama lain. Pekerjaan tangga berkaitan erat dengan faktor sumber daya manusia yaitu pekerja. Tanpa disadari, semakin terbiasanya pekerja melakukan pekerjaan yang berulang akan menghasilkan peningkatan pada produktivitas pekerjaan.

Sebagian besar pekerjaan pembangunan di Indonesia mengabaikan adanya kemampuan pekerja untuk melakukan *learning*. Pengamatan adanya kecenderungan kebutuhan waktu yang berkurang untuk pekerjaan berulang telah dipelajari oleh T.P Wright pada tahun 1936 dan hasilnya disajikan dalam bentuk kurva yang disebut sebagai kurva belajar atau *learning curve*. Teori kurva belajar mengalami perkembangan dan dibuktikan dengan adanya berbagai cara untuk pengolahan data, salah satunya adalah model De Jong.

Adanya kemungkinan perbedaan hasil prediksi menggunakan model Wright dengan De Jong membuat penulis tertarik untuk melakukan pengamatan dan menganalisis hal ini. Hasil dari prediksi model Wright dan De Jong akan penulis bandingkan kembali dengan hasil prediksi dari berbagai macam fungsi regresi eksponensial dan metode *Exponential Average*.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan mulai dari studi literatur, dan pengumpulan data yaitu data sekunder berupa denah proyek serta data primer berupa waktu pengerjaan anak tangga yang diamati langsung di lapangan, seperti yang tertera pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 HIPOTESIS PENELITIAN

Hipotesis nol pada penelitian ini berbunyi waktu kumulatif rata-rata pekerjaan pemasangan anak tangga keramik pada setiap siklus selanjutnya di Ruko X akan lebih kecil pada setiap pengulangannya. Hipotesis kedua menyatakan bahwa pemasangan anak tangga untuk dua siklus tidak terdapat pengurangan waktu dibanding pemasangan anak tangga pada siklus sebelumnya. Kedua hipotesis dapat ditulis seperti dibawah ini:

$$H_0: X_a > X_b$$

$$H_1: X_a < X_b$$

Uji-t yang digunakan adalah uji-t pengamatan berpasangan atau *paired test* untuk menguji hipotesis tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kecukupan Data

Untuk mengetahui jumlah sampel yang harus diambil maka dilakukan uji kecukupan data. ini. Berdasarkan rumus Slovin, maka jumlah sampel dalam penelitian ini dengan jumlah populasi adalah 150 anak tangga dan toleransi kesalahan 0,05 adalah sebagai berikut :

$$n = \frac{150}{1+150 \times 0,05^2} = 109,09$$

Jumlah minimal sampel yang diperlukan adalah sebesar 110 anak tangga. Pengamatan yang dilakukan pada sampel meliputi waktu pekerjaan pemasangan bata anak tangga yang setiap siklusnya terdiri dari:

1. Perataan luluhan yang diratakan oleh tukang.
2. Pemasangan bata sampai mencapai ukuran anak tangga yang direncanakan



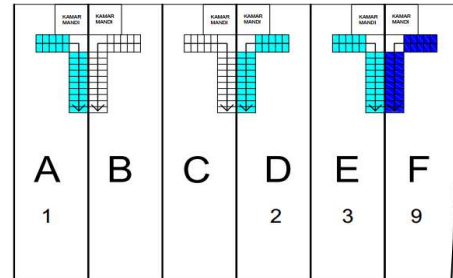
Gambar 2. Perataan Luluhan Sebelum Pemasangan Bata Tangga



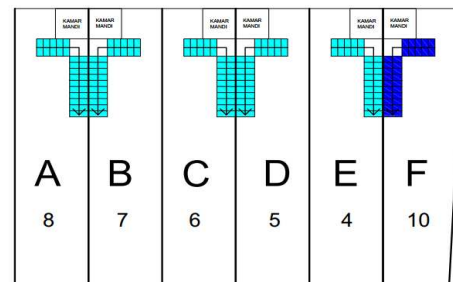
Gambar 3. Pemasangan Bata Tangga Oleh Tukang

3.2 Data Sampel

Data sampel yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah waktu pekerjaan pemasangan bata pada 110 anak tangga. Pemasangan bata anak tangga tidak dilakukan berurutan dari ruko A sampai dengan ruko F.



Gambar 4. Urutan pemasangan bata anak tangga penghubung lantai 1



Gambar 5. Urutan pemasangan bata anak tangga penghubung lantai 2 dengan lantai 3

Pekerjaan pemasangan bata pada anak tangga dilakukan oleh 1 orang tukang dengan 1 sampai 2 orang pekerja. Perhitungan waktu menggunakan timer akan terus berjalan selama tukang masih melakukan kegiatan pemasangan bata. Perhitungan waktu akan berhenti saat tukang secara tiba-tiba menghentikan pemasangan bata, seperti pada saat menunggu luluhan tersedia maupun saat tukang berkomunikasi dengan pekerja.

Pada gambar 4 dan 5 ditampilkan juga urutan pengamatan ke-9 dan ke-10, tangga ke 9 dan ke 10 adalah data tambahan yang tidak termasuk sebagai sampel sehingga tidak akan diikutkan dalam uji hipotesis.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Pengamatan Waktu Pemasangan Bata Anak Tangga Ruko X

| No | Siklus | Tangga | Volume (m ³) | Durasi Pengerjaan (menit) | Durasi Pengerjaan (jam) | Produktivitas (m ³ /jam) |
|----|--------|--------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 1 | A1 | 0.495 | 53.73 | 0.90 | 0.55 |
| 2 | 2 | D1 | 0.495 | 50.30 | 0.84 | 0.59 |
| 3 | 3 | E1 | 0.495 | 50.28 | 0.84 | 0.59 |
| 4 | 4 | E2 | 0.495 | 50.10 | 0.84 | 0.59 |
| 5 | 5 | D2 | 0.495 | 49.98 | 0.83 | 0.59 |
| 6 | 6 | C2 | 0.495 | 49.75 | 0.83 | 0.60 |
| 7 | 7 | B2 | 0.495 | 44.33 | 0.74 | 0.67 |
| 8 | 8 | A2 | 0.495 | 40.13 | 0.67 | 0.74 |
| 9 | 9 | F1 | 0.495 | 39.37 | 0.66 | 0.75 |
| 10 | 10 | F2 | 0.495 | 35.20 | 0.59 | 0.84 |

Pada tabel 1 ditampilkan juga data waktu pengerjaan bata tangga ke-9 dan ke-10, data tersebut berfungsi sebagai tolak ukur untuk membuktikan apakah kurva belajar mampu atau tidak memprediksi waktu pekerjaan pemasangan bata anak tangga dan membandingkan hasil prediksi dari kurva belajar model Wright dengan model De Jong serta dengan berbagai fungsi regresi dan *exponential average*.

3.3 Uji Hipotesis

Data sampel yang merupakan waktu pengerjaan pemasangan bata dari 8 tangga akan digunakan untuk uji hipotesis. Uji hipotesis yang digunakan berupa uji-t berpasangan Hipotesis dapat dituliskan sebagai berikut :

H₀ : H_a > H_b

H₁ : H_a < H_b

Berdasarkan hipotesis nol maka uji-t berpasangan yang digunakan adalah *uji satu arah*, sehingga tabel uji yang digunakan adalah yang terdapat arsiran pada salah satu sisinya.

Tabel 2. Data Sampel Uji Hipotesis

| No | Siklus | Waktu Pengerjaan (menit) | Waktu Kumulatif Rata-Rata | Selisih Waktu (d) | (d-d) | (d-d) ² |
|----|--------|--------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 53.73 | 53.73 | -53.73 | -47.66 | 2271.30 |
| 2 | 2 | 50.30 | 52.02 | 1.72 | 7.79 | 60.64 |
| 3 | 3 | 50.28 | 51.44 | 0.58 | 6.65 | 44.23 |
| 4 | 4 | 50.10 | 51.10 | 0.33 | 6.41 | 41.04 |
| 5 | 5 | 49.98 | 50.88 | 0.22 | 6.30 | 39.64 |
| 6 | 6 | 49.75 | 50.69 | 0.19 | 6.26 | 39.19 |
| 7 | 7 | 44.33 | 49.78 | 0.91 | 6.98 | 48.73 |
| 8 | 8 | 40.13 | 48.58 | 1.21 | 7.28 | 52.97 |
| | | | | Σd | -48.58 | Σ(d-d)² |
| | | | | d | -6.07 | 2597.73 |

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai t sebagai berikut.

$$t = \frac{d - d_0}{S_d \sqrt{n}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\Sigma(di - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2597,73}{8 - 1}}$$

$$= 19,264$$

$$t = \frac{-48,58/8}{19,264/\sqrt{8}}$$

$$= -0,891$$

Setelah mendapatkan nilai t, selanjutnya adalah melihat tabel t sebagai berikut.

$$df = n-1 = 8-1 = 7$$

$$\alpha = 0,05$$

$$t = -1,8946 \text{ (arsir satu ujung)}$$

Karena t hitung masih berada dalam daerah terima sehingga *H₀ dapat diterima*.

3.4 Kurva Belajar Model Wright dan De Jong

3.4.1 Nilai Faktor Slope (b) dan Waktu Produksi Pertama (T₁)

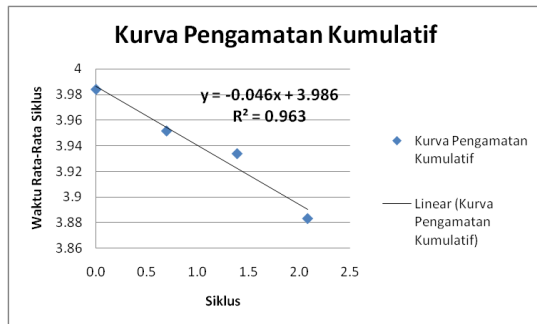
Teori kurva belajar mengenal adanya *double effect* yaitu adanya kecepatan belajar atau slope yang konstan pada kelipatan kedua dari siklus sebelumnya .

Tabel 3. Data Kumulatif Rata-Rata Waktu Pengerjaan

| No | Siklus | Waktu Kumulatif Rata-Rata (menit) |
|----|--------|-----------------------------------|
| 1 | 1 | 53.73 |
| 2 | 2 | 52.02 |
| 3 | 4 | 51.10 |
| 4 | 8 | 48.58 |

Faktor slope (b) dan waktu produksi pertama (T₁) didapatkan dari hasil regresi linier terhadap data sampel yang ada. Data sampel pengamatan pemasangan bata anak tangga pada

penelitian ini disajikan dalam bentuk kumulatif rata-rata waktu pengerjaan dan diplotkan pada *kurva log-log* dimana kedua sumbu dinyatakan dalam bentuk $\ln(x)$ dan $\ln(y)$. Sumbu x adalah nilai \ln dari siklus dan sumbu y adalah nilai \ln dari waktu kumulatif rata-rata.



Gambar 6. Kurva Log-Log Pengamatan Kumulatif

Koefisien determinasi (r^2) diperhitungkan untuk mengetahui tingkat kecocokan kurva terhadap data dan menghasilkan kecocokan sebesar 96,29 % serta korelasi sebesar 98,13%. Dari persamaan regresi $y = -0,0462x + 3,986$, didapatkan nilai faktor slope (b) sebesar -0,0462 dan untuk T1 adalah hasil dari $e^{3,986}$ yaitu 53,8391. Nilai faktor slope (b) dan T1 akan digunakan untuk menganalisis kurva belajar model Wright dan De Jong.

3.4.2 Kurva Belajar Model Wright

Kurva belajar atau learning curve dapat dihitung karena faktor slope dan waktu produksi unit pertama telah diketahui, sehingga persamaan model Wright pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$t_n = t_1 \cdot n^b = 53,8391 \cdot n^{-0,0462}$$

Keterangan:

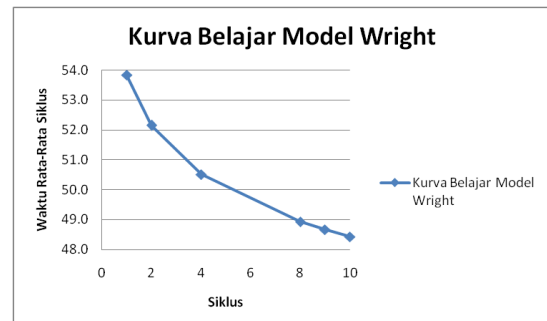
t_n = waktu kumulatif rata-rata yang diperlukan untuk memproduksi n unit

t_1 = waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi unit pertama

n = jumlah kumulatif unit yang diproduksi

b = faktor belajar

Sehingga kurva belajar Wright dapat dibuat dengan menggunakan rumus tersebut untuk menaksir waktu kumulatif rata-rata siklus selanjutnya yaitu siklus ke-9 dan ke-10.



Gambar 7. Kurva belajar Model Wright

3.4.3 Kurva Belajar Model De Jong

Kurva belajar model De Jong dihitung dengan menggunakan faktor slope dan waktu kumulatif rata-rata yang telah diketahui. Rumus De Jong untuk pada penelitian adalah sebagai berikut.

$$t_n = t_1 \{M + (1 - M) \cdot n^b\}$$

$$= 53,8391 \{M + (1 - M) \cdot n^{-0,0462}\}$$

Faktor M pada penelitian ini dianggap sebagai kemampuan maksimum tukang yang sudah terbiasa melakukan pekerjaan berulang. Nilai M didapatkan dari perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) dengan memasukan nilai M sebesar 0 sampai 1 secara *trial error*. Untuk mencari nilai M, maka digunakan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 4. Perhitungan faktor M dengan perhitungan RMSE

| M | | 0 | | | | |
|------|--------|--------|----------------|---------------------|----------------------------------|---------|
| No | Siklus | X | X ₁ | (X-X ₁) | (X-X ₁) ² | |
| 1 | 1 | 53.733 | 51.3555 | 2.3775 | 5.6525 | |
| 2 | 2 | 52.008 | 51.3555 | 0.6525 | 0.4258 | |
| 3 | 4 | 51.104 | 51.3555 | -0.2515 | 0.0633 | |
| 4 | 8 | 48.577 | 51.3555 | -2.7785 | 7.7201 | |
| MSE | | | | | | 3.46539 |
| RMSE | | | | | | 1.86156 |

Nilai X adalah nilai waktu kumulatif rata-rata persiklus. Nilai X₁ untuk siklus 1 merupakan rata-rata nilai dari jumlah total nilai X, sedangkan

untuk X_1 adalah waktu prediksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$X_n = (MX_{n-1}) + ((1-M)X_{1n-1})$$

Sebagai contoh perhitungan X_1 untuk siklus ke 2 dengan nilai M adalah 0 sebagai berikut.

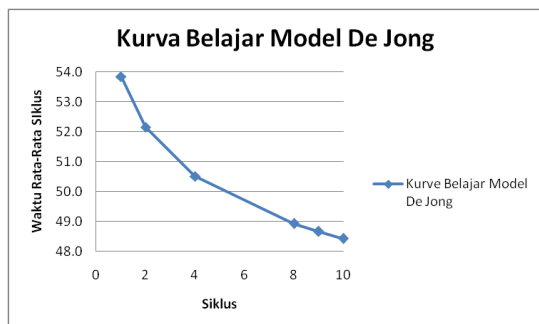
$$\begin{aligned} X_2 &= (0.53,733) + ((1-0).51,3555) \\ &= 51,3555 \end{aligned}$$

Nilai MSE didapatkan dari :

$$\begin{aligned} \text{MSE} &= \frac{\sum(X-X_1)^2}{n} \\ &= \frac{13,8616}{4} \\ &= 3,4654 \end{aligned}$$

RMSE merupakan akar dari MSE, sehingga didapatkan hasil sebesar 1,86156.

Dikarenakan faktor M bernilai 0, maka anggapan faktor M sebagai kemampuan maksimum tukang yang sudah terbiasa melakukan pekerjaan berulang tanpa menggunakan mesin tidak dapat diterapkan dalam teori De Jong. Persamaan De Jong akan menghasilkan waktu prediksi yang bernilai sama dengan waktu prediksi Wright.



Gambar 8. Kurva Belajar Model De Jong

3.5 Kurva Regresi Eksponensial

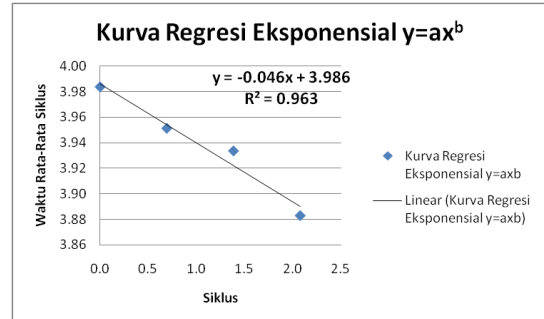
Pada penelitian ini dilakukan juga analisis kurva belajar berdasarkan kurva regresi eksponensial dengan fungsi yang berbeda-beda. Hasil dari analisis kurva belajar berdasarkan kurva regresi eksponensial akan dibandingkan dengan analisis kurva belajar model Wright dan De Jong.

3.5.1 Kurva Regresi Eksponensial Fungsi

$$y = ax^b$$

Fungsi $y = ax^b$ apabila ditransformasikan dalam fungsi linier akan menjadi.

$$\ln y = b \ln x + \ln a$$



Gambar 9. Kurva Regresi Eksponensial Fungsi $y=ax^b$

Persamaan regresi eksponensial didapatkan dengan mensubstitusikan nilai a dan b kedalam persamaan $y = ax^b$. Terlebih dahulu nilai q harus diolah agar mendapatkan nilai a .

Didapatkan:

$$p = b = -0,0462$$

$$q = 3,986$$

Sehingga :

$$a = e^q$$

$$a = e^{3,986}$$

$$a = 53,8391$$

Sehingga didapatkan persamaan regresi eksponensial pada gambar 9 adalah sebagai berikut.

$$y = 53,8391x^{-0,0462}$$

Koefisien determinasi (r^2) bernilai kecocokan sebesar 96,29 % serta korelasi sebesar 98,13%.

3.5.2 Kurva Regresi Eksponensial Fungsi $y = a$

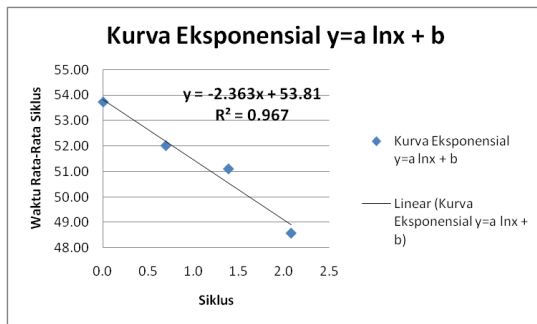
$$\ln x + b$$

Fungsi $y = a \ln x + b$ apabila ditransformasikan dalam fungsi linier akan menjadi.

$$y = au + b$$

Dengan substitusi variabel berikut.

$$u = \ln x$$



Gambar 10. Kurva Regresi Eksponensial Fungsi

$$y = a \ln x + b$$

Sehingga persamaan eksponensialnya menjadi,

$$y = -2,3633 \ln x + 53,815$$

Sehingga kurva regresi linier dengan adanya perubahan skala dari normal ke logaritma hanya pada sumbu x menghasilkan kecocokan sebesar 96,71% serta korelasi sebesar 98,34%.

3.5.3 Kurva Regresi Eksponensial Fungsi

$$y = be^{ax}$$

Fungsi $y = be^{ax}$ apabila ditransformasikan dalam fungsi linier akan menjadi.

$$\ln y = a x + \ln b$$

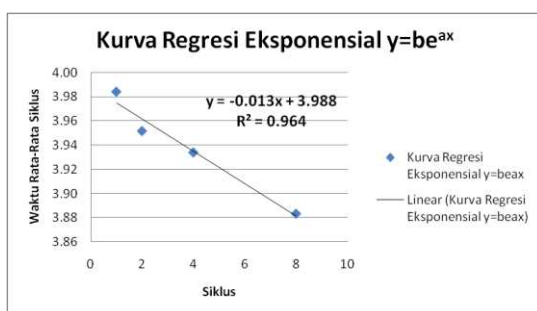
Dengan substitusi variabel berikut.

$$z = \ln y$$

$$q = \ln b, \text{ sehingga bentuk persamaan}$$

linier yang baru adalah :

$$z = ax + q$$



Gambar 11. Kurva Regresi Eksponensial Fungsi

$$y = be^{ax}$$

Persamaan regresi eksponensial didapatkan dengan mensubstitusikan nilai a dan q kedalam persamaan $z = ax + q$, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$Z = -0,0013 x + 3,988$$

Sehingga kurva regresi linier dengan adanya perubahan skala dari normal ke logaritma hanya pada sumbu y menghasilkan kecocokan sebesar 96,49% serta korelasi sebesar 98,23%. Untuk mendapatkan persamaan regresi eksponensial, terlebih dahulu nilai q harus diolah agar mendapatkan nilai b seperti berikut.

$$b = e^q$$

$$b = e^{3,988}$$

$$b = 53,9469$$

Sehingga didapatkan persamaan regresi eksponensial pada gambar 11 adalah sebagai berikut.

$$y = 53,9469 e^{-0,0013x}$$

4.6 Kurva Belajar Metode Exponential Average

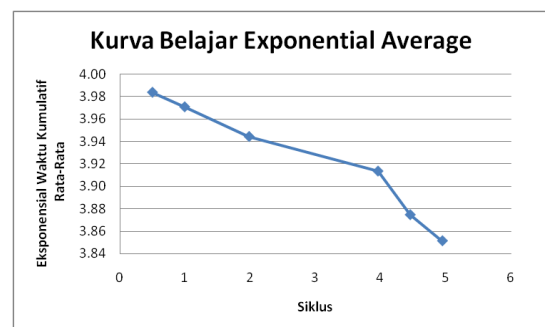
Pada penelitian ini, koefisien (a) yang digunakan sebesar 0.4 dan menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$EA_t = 0.4 Y_t + (1-0.4) EA_t$$

$$EA_{t-1} = 0.4 Y_{t-1} + (1-0.4) EA_t$$

$$EA_{t-2} = 0.4 Y_{t-1} + (1-0.4) EA_{t-1}$$

Metode *Exponential Average* tidak menggunakan siklus dalam persamaannya untuk memprediksi waktu, sehingga pada metode ini akan terlihat apakah ada pengaruh *double effect* dalam memprediksi waktu pekerjaan



Gambar 12. Kurva Belajar Metode Exponential Average

Pada siklus ke-8, Kr lebih besar jika dibandingkan dengan siklus lainnya dikarenakan waktu pekerjaan sesungguhnya mengalami percepatan

dari siklus sebelumnya. Hal ini dikarenakan karena tukang mempunyai targetan pencapaian yang harus diselesaikan, yaitu menyelesaikan pekerjaan anak tangga sebelum pemasangan keramik lantai.

4.7 Perbandingan Keakuratan Prediksi Metode Wright, De Jong, *Exponential Average* dan Regresi Eksponensial

Berdasarkan hasil analisis pada sub bab sebelumnya, berikut adalah tabel rekapitulasi akurasi dari prediksi waktu dengan metode Wright, De Jong, regresi eksponensial dan *exponential average*.

Tabel 5. Tabel Perbandingan Akurasi Prediksi

| No | Metode | Persamaan | R ² (%) |
|----|----------------------|---|--------------------|
| 1 | Wright | $tn = 53.8391 \cdot n^{(-0.046)}$ | 96.3 |
| 2 | De Jong | $tn = 53.8391 \{0 + (1-0) \cdot n^{(-0.046)}\}$ | 96.3 |
| 3 | Regresi Eksponensial | $y = 53.8391x^{(-0.046)}$ | 96.3 |
| 4 | Regresi Eksponensial | $y = 2.363 \ln x + 53.81$ | 96.7 |
| 5 | Regresi Eksponensial | $y = 53.9469 e^{(-0.0013x)}$ | 96.4 |
| 7 | Exponential Average | $EAt = 0.4 Yt + (1-0.4) EAt$ | 95 |

Tabel 6. Hasil Perbandingan Analisis Kurva Belajar

| No | Siklus | Waktu Kumulatif Rata-Rata Sesungguhnya (menit) | Wright dan De Jong (menit) | $y = ax^b$ (menit) | $y = a \ln x + b$ (menit) | $y = be^{ax}$ (menit) | Exponential Average (menit) |
|----|--------|--|----------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 | 1 | 53.73 | 53.8391 | 53.8391 | 53.8100 | 53.2501 | 53.7300 |
| 2 | 2 | 52.02 | 52.1495 | 52.1495 | 52.1721 | 52.5623 | 53.0373 |
| 3 | 4 | 51.10 | 50.5130 | 50.5130 | 50.5342 | 51.2133 | 51.6481 |
| 4 | 8 | 48.58 | 48.9278 | 48.9278 | 48.8963 | 48.6183 | 50.0761 |
| 5 | 9 | 47.55 | 48.6634 | 48.6634 | 48.6180 | 47.9904 | 48.1631 |
| 6 | 10 | 46.32 | 48.4281 | 48.4281 | 48.3690 | 47.3705 | 47.0539 |

Berdasarkan tabel 5, metode *exponential average* mempunyai nilai koefisien determinasi (R²) yang terkecil. Akan tetapi jika dilihat dari tabel 6, metode *exponential average* adalah metode yang paling sesuai untuk memprediksi waktu pekerjaan anak tangga dalam penelitian ini, dikarenakan *exponential average* tidak menggunakan siklus dalam persamaannya, sehingga dalam memprediksi siklus ke-9 dan ke-10 nilai Kr yang didapatkan lebih kecil daripada hasil metode lainnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis kurva belajar model Wright dan De Jong

untuk pemasangan anak tangga Ruko X di Malang, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Terdapat pengurangan waktu pada pekerjaan berulang pemasangan bata anak tangga. Hal ini didukung oleh data pengamatan yang didapatkan dan hasil uji hipotesis dimana Ho pada penelitian berbunyi “Rata-rata kumulatif waktu pekerjaan pemasangan bata tangga pada setiap siklusnya akan lebih kecil pada pekerjaan pengulangannya” dapat diterima.
2. Analisis kurva belajar model Wright dan De Jong pada penelitian ini, menghasilkan waktu prediksi yang bernilai sama. Kemungkinan faktor inkompresibilitas bernilai 0 dikarenakan pada pekerjaan bata anak tangga tidak ada bantuan dari mesin sama sekali.
3. Hasil perbandingan analisis kurva belajar dari beberapa fungsi regresi eksponensial dan *exponential average* disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 7. Hasil perbandingan analisis kurva belajar beberapa fungsi regresi eksponensial dan *exponential average*.

| No | Siklus | Waktu Kumulatif Rata-Rata Sesungguhnya (menit) | $y = ax^b$ (menit) | $y = a \ln x + b$ (menit) | $y = be^{ax}$ (menit) | Exponential Average (menit) |
|----|--------|--|--------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 | 1 | 53.73 | 53.8391 | 53.8100 | 53.2501 | 53.7300 |
| 2 | 2 | 52.02 | 52.1495 | 52.1721 | 52.5623 | 53.0373 |
| 3 | 4 | 51.10 | 50.5130 | 50.5342 | 51.2133 | 51.6481 |
| 4 | 8 | 48.58 | 48.9278 | 48.8963 | 48.6183 | 50.0761 |
| 5 | 9 | 47.55 | 48.6634 | 48.6180 | 47.9904 | 48.1631 |
| 6 | 10 | 46.32 | 48.4281 | 48.3690 | 47.3705 | 47.0539 |

Yang memiliki nilai akurasi terbaik untuk memprediksi waktu pengerjaan anak tangga dalam penelitian ini adalah metode *exponential average*, dikarenakan *exponential average* tidak menggunakan siklus dalam persamaannya, sehingga dalam memprediksi siklus ke-9 dan ke-10 nilai prediksi lebih mendekati dengan waktu sesungguhnya.

4. Hasil prediksi kurva belajar juga menghasilkan prediksi dari produktivitas. Dimana nilai produktivitas semakin meningkat dikarenakan adanya pengurangan waktu dalam pekerjaan berulang
5. Metode terbaik dengan akurasi prediksi tertinggi untuk pemasangan anak tangga adalah metode *exponential average*. Dikarenakan *exponential average* tidak menggunakan siklus dalam persamaannya, sehingga dalam memprediksi siklus yang bukan merupakan *double effect*, akan menghasilkan nilai prediksi lebih mendekati dengan waktu sesungguhnya.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis kurva belajar model Wright dan De Jong untuk pemasangan anak tangga Ruko X di Malang , maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut.

1. Sebaiknya analisis kurva belajar model De Jong dilakukan terhadap objek yang pekerjaan tidak hanya dikerjakan secara manual tetapi juga dengan mesin. Sehingga akan terlihat nilai dari faktor inkompresibilitasnya dimana faktor tersebut menjadi pembeda dari model De Jong dengan model Wright.
2. Banyaknya populasi objek agar lebih diperhatikan, agar teori *double effect* dapat diterapkan secara maksimal untuk menganalisis data.
3. Jika pekerjaan dikerjakan dalam satu group pekerjaan, diharapkan group tersebut tidak berubah baik dalam jumlah maupun orang yang didalam group tersebut.
4. Satu siklus sebaiknya tidak terpotong oleh waktu istirahat dan dikerjakan dalam hari yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto. 2010. *Manajemen Produksi untuk Jasa Konstruksi*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Blocher, Chen dan Lin. 2000. *Manajemen Biaya Buku I*. Jakarta: Salemba Empat
- Dar-El, E. 2000. *Human Learning: from Learning Curve to Learning Organization*. Israel: Kluwer Academic Publishers.
- Hansen, Don R & Mowen Maryanne M. 2000. *Akuntansi Manajemen. Edisi 4*, diterjemahkan oleh Ancella A. Hermawan M.B.A. Jakarta: Erlangga .
- Moore, Capt Justin R, dkk. 2015. *Acquisition Challenge: The Importance of Incompressibility in Comparing Learning Curve Model*, vol. 22, 420-427.
- Mulyadi. 2001. *Sistem Akuntansi Edisi Tiga*. Jakarta: Salemba Empat.
- Nugroho, Waego Hadi. 1990. *Pengantar Analisis Statistika*. Bandung : Ganeca Exact Bandung.
- Rahayu, Maria Dewi. (2009). *Pola Asuh Anak Ditinjau Dari Aspek Relasi Gender Kasus Pada Keluarga Etnis Minang, Jawa Dan Batak Di Kelurahan Sukajadi, Kecamatan Dumai Timur, Kota Dum Ai, Provinsi Riau*, 28.
- Ravianto, J. 1985. *Produktivitas dan Manajemen*. SIUP : Jakarta.
- Sembiring, R.K. 1995. *Analisis Regresi*. Bandung : ITB.
- Teplitz, C.J. 1991. *The Learning Curve Deskbook: A Reference Guide to Theory, Calculations, and Applications*. Westport: Quorum books.
- T. P. Wright. "Factors Affecting the Cost of Airplanes", *Journal of the Aeronautical Sciences*, Vol. 3, No. 4 (1936), pp. 122-128.
- Thomas, H.R. (2000). *Principles of Construction Labor Productivity Measurement and Processing*. Pennsylvania Transportation Institute Pennsylvania State University, Pennsylvania.
- Undang Undang No.13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan.
- Yitnosumarto, Suntoyo. 1990. *Dasar-Dasar Statistika : Dengan Penekanan Terapan dalam Bidang Agrokomples, Teknologi dan Sosial*. Jakarta: CV.Rajawali.